نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۱۳۶-۱۲۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 125-136

اثر محلول‌پاشی کود روی بر عملکرد دانه و محتوی روی دانه برنج رقم سازندگی

احمد رمضانی[1]*- محمود صلحی[2]- مصلح‌الدین رضایی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی کود روی بر عملکرد دانه و میزان روی دانه برنج رقم سازندگی، آزمایشی بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ اجرا شد. تیمارها شامل: نانو اکسید روی با غلظت ۱۵۰ و۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سولفات‌روی با غلظت‌های سه و شش گرم در لیتر، آب مقطر (شاهد اول) و بدون محلول‌پاشی (شاهد دوم) بود. نتایج نشان داد حداکثر عملکرد دانه (۸۹۶۸/۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شش گرم در لیتر سولفات‌روی به‌دست آمد که نسبت به شاهد اول ۱۰/۱درصد و نسبت به شاهد دوم ۱۱/۸درصد بیشتر بود. همچنین حداکثر مقدار روی دانه (۳۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار شش گرم در لیتر سولفات‌روی به‌دست آمد که نسبت به شاهد اول ۱۶/۶درصد و نسبت به شاهد دوم ۱۹/۵درصد بیشتر بود. این در حالی بود که بین مقدار روی دانه دو تیمار سولفات‌روی و دو تیمار نانو اکسید روی، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بر اساس نتایج این پژوهش محلول‌پاشی نانو اکسید روی و سولفات‌روی می‌تواند سبب افزایش عملکرد و بهبود محتوای روی دانه در راستای غنی‌سازی زیستی دانه برنج گردد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه برگی، سولفات‌روی، غنی‌سازی‌زیستی، کمبود روی، نانو اکسید روی

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) غذای اصلی ۲/۵ میلیارد نفر از جمعیت جهان است و در بین محصولات آبی، تنها محصولی است که بیشترین زمین را برای تولید مواد غذایی اشغال کرده‌است، به‌طوری‌که ۹ درصد از زمین‌های زراعی دنیا زیر کشت این محصول قرار دارد (Depar *et al.*, 2011).

کمبود روی پس از نیتروژن، فسفر و پتاسیم مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد (Rehman, 2014) و کیفیت تغذیه‌ای برنج است (Cakmak *et al.*, 1999). نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد محلول‌پاشی سولفات‌روی در جبران کمبود عنصر روی و افزایش غلظت روی دانه برنج مؤثر بوده‌است (Jiang *et al.*, 2008; Stomph *et al.*, 2011). گزارش شده در یک خاک رسی‌شنی متمایل به قلیایی با میزان روی کافی در شرایط غرقابی، محلول‌پاشی با سولفات‌روی ۵ درصد در آغاز خوشه‌دهی در مقایسه با مصرف آن در خاک در همان مرحله، باعث افزایش مقدار روی دانه برنج به میزان ۱/۸ برابر شد (Rehman *et al.*, 2012). در تحقیقی دیگر چاکرالحسینی و همکاران (Chakeralhosseini *et al.*, 2009) با بررسی اثرات میزان، منبع و روش مصرف کود روی بر صفات کمی و کیفی برنج رقم چرام گزارش کردند مصرف روی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد (۵۶/۹ درصد) شد و بیش‌ترین عملکرد با محلول‌پاشی سولفات‌روی (با غلظت سه‌گرم در لیتر) توأم با مصرف ۴۰ کیلوگرم سولفات‌روی در خاک، حاصل شد. در یک آزمایش مزرعه‌ای که به منظور بررسی اثر کاربرد مجزا و ترکیبی عناصر روی، آهن و منگنز به دو صورت مصرف خاکی و محلول‌پاشی بر رشد و عملکرد برنج رقم ساخا[4] ۱۰۱ در مصر انجام شد، نتایج نشان داد که استفاده از عناصر کم مصرف به‌صورت مجزا یا ترکیبی افزایش قابل‌توجهی بر رشد برنج داشت و کاربرد ترکیبی عناصر روی، آهن و منگنز بیشترین اثر مثبت را در گیاه، در هر دو روش مصرف خاکی و محلول‌پاشی داشت (Zayed *et al.*, 2011).

یکی از کاربردهای علم نانو در کشاورزی مدیریت تغذیه گیاه

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمات تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۲ و ۳- به‌ترتیب استادیار و مربی پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: Ramazaani@yahoo.com)

4- Sakha101

DOI: 10.22067/gsc.v16i1.59475

است. با بهره‌گیری از نانوکودها، عناصر غذایی به آرامی و با سرعت مناسب در تمام طول فصل رشد گیاه آزاد می‌شوند و به دلیل کاهش شدید آبشویی عناصر، گیاهان قادر به جذب بیشترین مقدار مواد غذایی خواهند بود. به‌علاوه از مهمترین مزیت‌های نانو کودها، می‌توان به راندمان بالا و کاهش مقدار کود مصرفی اشاره کرد که باعث کاهش آلودگی آب و خاک و محیط زیست می‌گردد (Amirjani *et al.*, 2014). با این حال کاربرد نانو مواد در زمینه کشاورزی، نسبتاً جدید و نیازمند تحقیقات بیشتری است و لازم است در این رابطه، چالش‌هایی نظیر غیر قابل پیش‌بینی بودن واکنش گیاهان مختلف به مواد نانو، مسمومیت گیاهی ناشی از به‌کارگیری غلظت‌های بالای مواد نانو، کاهش مقدار جذب و فتوسنتز گیاه با کاربرد مواد نانو با ابعاد بزرگ را در نظر بگیرند. همچنین خواص ترکیبات نانو (ابعاد و اندازه‌ها) نفوذ و جذب آنها از طریق پوست را نیز تشدید کرده و ممکن است خطراتی را برای انسان و محیط زیست ایجاد کند (Khot *et al.*, 2012). کمری و همکاران (Kamari *et al.*, 2014) با بررسی اثر محلول‌پاشی نانو اکسید روی در پنج غلظت (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم در لیتر) نشان دادند که عملکرد، سرعت ظهور برگ، عملکرد و اجزای عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی با نانو اکسید روی قرار گرفت. پراساد و همکاران (Prasad *et al.*, 2012) با محلول‌پاشی بادام زمینی با محلول سولفات‌روی به میزان ۲ گرم در لیتر و نانو اکسید روی با غلظت ۱۳۳/۳ میلی‌گرم در لیتر ۳۵ و ۷۰ روز پس از کاشت گزارش کردند مصرف نانو اکسید روی و سولفات‌روی به‌ترتیب باعث افزایش ۲۹/۵ و ۲۶/۳ درصدی عملکرد غلاف شد. این در حالی بود که وقتی غلظت تیمار نانو دو برابر شد اثر آن بازدارنده بود.

تحقیقات متعددی در موسسه تحقیقات برنج کشور در رابطه با مصرف روی در زراعت برنج انجام شده‌است. گزارش شده آغشته‌کردن نشاهای برنج قبل از نشاکاری در محلول چهار در هزار اکسید روی باعث افزایش عملکرد در شالیزارهای مازندران شد (Soleimani, 1999). در پژوهشی دیگر گزارش شده آغشته‌کردن نشاهای برنج در محلول دو درصد اکسید روی قبل از انتقال به خزانه و مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی تأثیری بر عملکرد برنج در گیلان نداشت (Safarpour, 1997). ساداتی (Saadati, 1998) با آغشته‌کردن نشاهای برنج در محلول ۲، ۴ و ۴ درصد به‌ترتیب اکسید روی، سولفات‌روی و سکوسترین قبل از انتقال به خزانه و مصرف خاکی این ترکیبات به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کرد روی باعث افزایش عملکرد برنج در مازندران شد و بیشترین عملکرد در تیمار ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی به‌دست آمد. همچنین گزارش شده مصرف ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی در مناطق مختلف استان گیلان باعث افزایش و در برخی دیگر باعث کاهش عملکرد برنج گردید (Davatgar, 2005).

تحقیق حاضر با توجه به اهمیت روی در تغذیه انسان و کمبود آن در کشورهایی که غلات غذای اصلی مردم را تشکیل می‌دهند (Rehman, 2014) با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانو اکسید روی و سولفات‌روی بر غلظت عناصر روی، منگنز و آهن در شاخساره گیاه، عملکرد دانه و مقدار روی دانه برنج رقم سازندگی در اصفهان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی سولفات‌روی با غلظت‌های سه و شش گرم در لیتر (Shivay *et al.*, 2008) نانو اکسید روی با غلظت ۱۵۰ و۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر (Prasad *et al.*, 2012) آب مقطر (شاهد اول) و عدم محلول‌پاشی (شاهد دوم) بود. محلول‌پاشی در مراحل پنجه‌زنی و شیری دانه (Rehman *et al.*, 2012; Cakmak *et al.*, 2010) انجام شد. نانو اکسید روی مورد استفاده تولید شرکت تحقیقاتی نانو مواد آمریکا[1] با خلوص ۹۹ درصد (حاوی ۸۰ درصد عنصر روی) و متوسط قطر ذرات ۳۰-۱۰ نانومتر و سطح ویژه مخصوص آن بیشتر از ۳۰ مترمربع بر گرم بود. همچنین سولفات‌روی به‌کار رفته از نوع آبدار ($7H_2O.SO_4Zn$) (حاوی ۲۲/۷ درصد عنصر روی و ۱۱/۲ درصد عنصر گوگرد بود) با خلوص ۹۹ درصد تولید شرکت فولکا[2] سوئیس بود.

مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ نشان داده شده‌است. بر اساس اطلاعات جدول ۱ خاک محل آزمایش دارای بافت لومی رسی و مقدار روی کمتر از حد بحرانی بود (Malakouti and Kavousi, 2004). رقم برنج مورد استفاده در این آزمایش رقم سازندگی بود، که رقم تجاری مورد کشت در اصفهان است. خزانه‌گیری به روش جعبه‌ای با مصرف ۱۲۰ گرم بذر به ازای هر سینی نشا انجام شد و گیاهچه‌ها پس از ۳۰ روز با آرایش کاشت ۲۵×۲۵ سانتی‌متر به‌صورت چهار تا شش گیاهچه در کپه توسط کارگر در زمین اصلی کاشته شد. به منظور تقویت خاک مقدار ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و اوره بر اساس آزمون اولیه خاک مصرف گردید.

1- US Research Nanomaterials, Inc.
2- Fulka

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of field soil before experiment

mg kg^{-1}						(%)		pH	Texture	EC (dS m^{-1})	Depth (cm)
$Fe_{(ava)}$	$Mn_{(ava)}$	$Zn_{(ava)}$	$Cu_{(ava)}$	$K_{(ava)}$	$P_{(ava)}$	N	OC				
28.8	6.05	0.76	2.8	210	12.54	0.09	0.89	7.3	Clay loam	2.65	0-30

تمامی کود فسفر و پتاسیم و نیمی از کود نیتروژن در زمان تهیه بستر استفاده شد. ۵۰ درصد اوره باقیمانده در مراحل پنجه‌زنی و آغاز ظهور سنبله جوان به‌طور مساوی تقسیط و به‌صورت سرک مصرف شد. برای تعیین غلظت عناصر آهن، منگنز و روی نمونه‌گیری از شاخساره گیاه در مراحل پنجه‌زنی و ظهور خوشه (یک روز قبل از محلول‌پاشی و ۱۰ روز پس از محلول‌پاشی) و از دانه برنج در زمان برداشت انجام شد. در هر مرحله تعداد ۴ کپه از هر کرت کف‌بر شد. نمونه‌ها ابتدا به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد و سپس بروش هضم‌تر در بالن ژوژه توسط اسید سولفوریک[1]، اسید سالیسیلیک[2] و آب اکسیژنه[3] عصاره آن‌ها تهیه گردید (Emami, 1996). غلظت عناصر آهن، منگنز و روی شاخساره و میزان روی دانه برنج سفید به‌وسیله دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. برای تعیین عملکرد دانه ۵ مترمربع از مرکز هر کرت برداشت شد و عملکرد دانه (بر اساس رطوبت ۱۴درصد) محاسبه شد. تجزیه‌های آماری و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای اس. ا. اس و اکسل و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) انجام شد. همچنین با انجام آزمون بارتلت و اطمینان از یکنواختی اشتباهات آزمایشی تجزیه مرکب داده‌ها برای دو سال آزمایش انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد غلظت عناصر آهن، منگنز و روی شاخساره گیاه در مراحل پنجه‌زنی و شیری‌دانه و مقدار روی دانه و عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی قرار گرفتند (جدول ۲).

تأثیر محلول‌پاشی کود روی بر غلظت عنصر روی در شاخساره گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر محلول‌پاشی کود روی بر غلظت عنصر روی شاخساره گیاه در مراحل پنجه‌زنی و شیری‌دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر غلظت روی شاخساره به‌ترتیب (۲۸/۸ و ۳۷/۸ میلی‌گرم برکیلوگرم) در مرحله پنجه‌زنی و شیری‌دانه در تیمار شش میلی‌گرم بر لیتر سولفات‌روی و حداقل آن به‌ترتیب (۲۴/۲ و ۳۰/۵ میلی‌گرم برکیلوگرم) در تیمار شاهد اول و شاهد دوم حاصل شد (جدول ۳). در مرحله پنجه‌زنی تأثیر هر دو سطح تیمار سولفات‌روی به همراه سطح دوم نانو اکسید روی بر افزایش غلظت عنصر روی در شاخساره گیاه معنی‌دار بود ولی اثر ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی معنی‌دار نبود. در مرحله شیری دانه نیز اثر هر دو سطح نانو اکسید روی و هر دو سطح سولفات‌روی بر افزایش غلظت عنصر روی شاخساره مؤثر بود (جدول ۳). بنابراین محلول‌پاشی باعث افزایش غلظت روی در بافت‌های گیاه شد. افزایش غلظت روی در بافت‌های گیاه به‌ویژه بعد از گلدهی می‌تواند به‌عنوان یک منبع قوی، مقدار روی دانه (مقصد) را بهبود بخشد.

نکته قابل توجه این است که علی‌رغم اینکه غلظت محلول سولفات‌روی نسبت به تیمارهای نانو مورد استفاده در آزمایش۲۰ برابر بیش‌تر بود، ولی تفاوت معنی‌داری بین مقدار روی جذب شده توسط شاخساره گیاه در تیمارهای نانو و سولفات‌روی در مرحله شیری دانه وجود نداشت. امیرجانی و همکاران (Amirjani *et al.*, 2014) و پراساد و همکاران (Prasad *et al.*, 2012) نیز جذب بیشتر نانو اکسید روی را در مقایسه با سولفات‌روی و کلات‌روی در گیاه گزارش کرده‌اند. رحمان و همکاران (Rehman, 2014) گزارش کردند که مصرف خاکی سولفات‌روی در زمان پنجه‌زنی یا آغاز خوشه‌دهی باعث افزایش مقدار روی در خاک، گیاه و دانه شد. به‌طوری‌که افزایش غلظت روی در بافت‌های سبز گیاه باعث افزایش ۲/۵ برابری محتوای روی دانه نسبت به تیمار شاهد بود. این افزایش با بالا رفتن میزان روی قابل جذب خاک، بهبود جذب روی توسط گیاه و افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها به دانه در دوره پرشدن دانه همراه بود.

سطح مطلوب روی در برگ‌های برنج ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده‌است (Malakouti and Kavousi, 2004). این محققین پیشنهاد کردند غلظت روی در برگ‌های برنج از ۲۰ میلی‌گرم درکیلوگرم بیشتر باشد. مقدار عنصر روی اندازه‌گیری شده در شاخساره برنج در این آزمایش قبل از محلول‌پاشی در زمان پنجه‌زنی در دامنه ۲۳-۲۰ میلی‌گرم درکیلوگرم بود که اندکی کمتر از حد مطلوب بود، واکنش مثبت گیاه به محلول‌پاشی نیز موید این مطلب است (جدول ۲ و ۳).

1- H_2SO_4
2- $C_7H_6O_3$
3- H_2O_2

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی کود روی بر غلظت عناصر آهن، منگنز و روی شاخساره در مراحل پنجه‌زنی و شیری دانه، عملکرد دانه و مقدار روی دانه طی دو سال

Table 2- Analysis of variance of zinc foliar application effects on shoots Fe, Mn and Zn concentration at tillering and grain milk stages, grain yield and grain zinc content of rice during two years

منابع تغییرات	S.O.V	d.f درجه آزادی	Fe آهن		Mn منگنز		Zn روی		Grain zinc content میزان روی دانه	Grain Yield عملکرد دانه
			Tillering پنجه‌زنی	Milk stage شیری دانه	Tillering پنجه‌زنی	Milk stage شیری دانه	Tillering پنجه‌زنی	Milk stage شیری دانه		
سال	Year	1	576.12^{ns}	148.66^{ns}	444.11^{ns}	113.76^{ns}	9.66^{ns}	11.26^{ns}	9.49^{ns}	277808.06^{ns}
تکرار (در سال)	Rep(year)	4	1904.34	457.02	1195.80	343.77	3.14	3.68	3.65	3301445.87
محلول‌پاشی	Foliar spray	5	692.81**	945.86**	378.57**	256.51*	12.94**	15.19**	3.87**	894940.41*
سال×محلول‌پاشی	Foliar spray ×year	5	29.44^{ns}	49.30^{ns}	69.85^{ns}	16.37^{ns}	3.01^{ns}	3.28^{ns}	0.53^{ns}	1838.66^{ns}
خطا	Error	20	17.45	74.54	65.55	14.23	1.31	1.35	1.24	1928.74
ضریب تغییرات	CV (%)	-	21.2	16.1	10.1	9.8	16.1	11.7	13.4	12.2

*، ** و ns به‌ترتیب دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار

ns, * and **: Not significant and significant at 5% and 1% probability levels respectively; df: Degrees of freedom; S.O.V: Source of Variation; Rep: Replication

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های غلظت عناصر آهن، منگنز و روی (میلی‌گرم برکیلوگرم) شاخساره گیاه در زمان پنجه‌زنی و شیری دانه تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی طی دو سال

Table 3- Mean comparison of shoots Fe, Mn and Zn concentrations (mg kg^{-1}) at tillering and grain milk stages under zinc foliar application treatments during two years

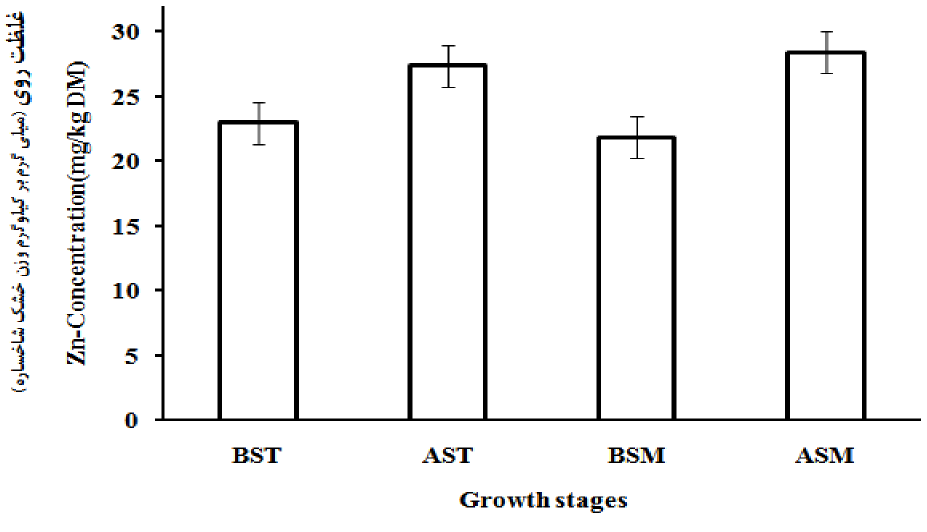
تیمارهای آزمایشی Treatments	Zn/ روی		Fe/ آهن		Mn/ منگنز	
	پنجه‌زنی Tillering	شیری دانه Milk stage	پنجه‌زنی Tillering	شیری دانه Milk stage	پنجه‌زنی Tillering	شیری دانه Milk stage
ZnO-150mg L^{-1}	26.5^{bc}	35.3^{ab}	208.4^{b}	96.3^{b}	186.1^{ab}	95.4^{ab}
ZnO-300mg L^{-1}	28.3^{ab}	35.1^{ab}	202.3^{c}	92.4^{b}	179.4^{bc}	91.3^{b}
SO_4Zn-3g L^{-1}	28.4^{ab}	37.6^{a}	198.2c^{d}	92.3^{b}	174.3^{c}	80.7^{c}
SO_4Zn-6g L^{-1}	28.8^{a}	37.8^{a}	194.6^{d}	87.8^{b}	171.2^{c}	84.1^{c}
Control 1	24.2^{d}	31.6^{c}	216.8^{a}	119.4^{a}	190.9^{a}	99.7^{a}
Control 2	25.2^{dc}	30.5^{c}	221.9^{a}	113.9^{a}	187.6^{ab}	96.2^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

Mean in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD Test

مقدار روی مناسب در مرحله پنجه‌زنی را در برگ‌های جوان و اندام هوایی ۲۵ تا ۵۰ و حد بحرانی آن‌را برای کمبود و سمیت به‌ترتیب کمتر از ۱۰ و بیشتر از ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کرده‌اند (Dobermann and Fairhurst, 2000). مقادیر مشابهی نیز در مرحله پنجه‌زنی توسط ملکوتی و کاووسی (Malakouti and Kavousi, 2004) گزارش شده‌است. فورنو و همکاران (Forno, *et al.*, 1975) نیز سطح بحرانی روی در اندام هوایی ارقام حساس به کمبود روی را ۱۵ و برای ارقام غیرحساس ۱۸میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کرده‌اند.

نتایج تجزیه واریانس اضافی با در نظر گرفتن محلول‌پاشی به‌عنوان عامل اصلی و زمان نمونه‌گیری به‌عنوان عامل فرعی در قالب طرح اسپلیت‌پلات نشان داد، اثر زمان در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. به عبارت دیگر بین میزان روی تیمارها قبل و بعد از محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده شد (شکل ۱).



شکل ۱- تأثیر محلول‌پاشی کود روی بر میزان عنصر روی شاخساره برنج در مراحل مختلف رشد طی دو سال

Figure 1- Effect of zinc foliar application on rice shoots zinc concentration in different growth stages during two years.

BST: قبل از محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی، AST: بعد از محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی، BSM: قبل از محلول‌پاشی در مرحله شیری دانه و ASM: بعد از محلول‌پاشی در مرحله شیری.

BST and AST: Respectively before and after spry at tillering stage, ASM and BSM: Respectively before and after spry at mike stage

همچنین تفاوت معنی‌داری از نظر نوع و میزان محلول به‌کار رفته مشاهده نشد. به عبارت دیگر هر دو سطح سولفات‌روی و هر دو سطح نانو اکسید روی توانستند در مقایسه با دو تیمار شاهد غلظت روی شاخساره گیاه را افزایش دهند. در شکل ۱ مشاهده می‌شود که در زمان پنجه‌زنی، مقدار روی در اندام‌هوایی گیاه در تیمارهای مختلف در دامنه ۲۰/۷ تا ۲۳/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که بعد از محلول‌پاشی به ۲۶/۷ تا ۲۹/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافته‌است. در حالی‌که این مقدار در زمان شیری دانه کاهش یافته (۱۸/۶تا ۲۳/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است و مجدداً بعد از محلول‌پاشی افزایش یافته‌است (۲۷/۵ تا ۲۷/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم). به نظر می‌رسد علت کاهش مقدار روی در شاخساره گیاه در فاصله زمانی دو محلول‌پاشی رشد و توسعه سریع بیوماس گیاه بوده که باعث ترقیق غلظت روی در بافت‌های گیاه شده‌است (اثر رقت).

تأثیر محلول‌پاشی کود روی بر غلظت منگنز و آهن در شاخساره گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر محلول‌پاشی بر غلظت آهن شاخساره گیاه در مراحل پنجه‌زنی و شیری‌دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر غلظت آهن شاخساره در مرحله پنجه‌زنی (۲۱۶/۸ و ۲۲۱/۹ میلی‌گرم برکیلوگرم) به‌ترتیب در تیمار شاهد اول و شاهد دوم به‌دست آمد و حداقل آن (۱۹۸/۲ و ۱۹۴/۶ میلی‌گرم برکیلوگرم) به‌ترتیب در تیمار ۶ و ۳ میلی‌گرم بر لیتر سولفات‌روی حاصل شد. در مرحله شیری‌دانه نیز تقریباً روند مشابهی مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش جذب غلظت روی در اندام هوایی در اثر محلول‌پاشی کود روی باعث کاهش غلظت آهن در ساقه و برگ‌ها شده‌است. به عبارت دیگر افزایش غلظت روی باعث کاهش غلظت آهن گردیده‌است.

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد تأثیر محلول‌پاشی بر غلظت منگنز شاخساره گیاه در مرحله پنجه‌زنی در سطح احتمال یک درصد و در مرحله شیری‌دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر غلظت منگنز شاخساره در مرحله پنجه‌زنی (۱۹۰/۹ و ۱۸۷/۶ میلی‌گرم برکیلوگرم) به‌ترتیب در تیمار شاهد اول و شاهد دوم به‌دست آمد و حداقل آن (۱۷۱/۲ و ۱۷۴/۳ میلی‌گرم برکیلوگرم) به‌ترتیب در تیمار شش و سه میلی‌گرم بر لیتر سولفات‌روی حاصل شد. در مرحله شیری‌دانه نیز روند تقریباً مشابهی مشاهده شد (جدول ۳). گزارش شده با افزایش غلظت روی در بافت‌های برنج مقدار منگنز و آهن شاخساره کاهش یافت (Reinhold, 1971). به اعتقاد این محققین کاهش مقدار منگنز و آهن بافت‌های گیاه می‌تواند ناشی از افزایش وزن خشک یا کاهش جذب منگنز و آهن باشد. یعنی جذب این دو عنصر به‌وسیله برنج در حضور روی کاهش می‌یابد. این در حالی است که دامنه کفایت آهن و منگنز بخش هوایی برنج به‌ترتیب ۱۰۰-۶۰ و ۱۵۰-۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گزارش شده‌است (Dobermann and Fairhurst, 2000).

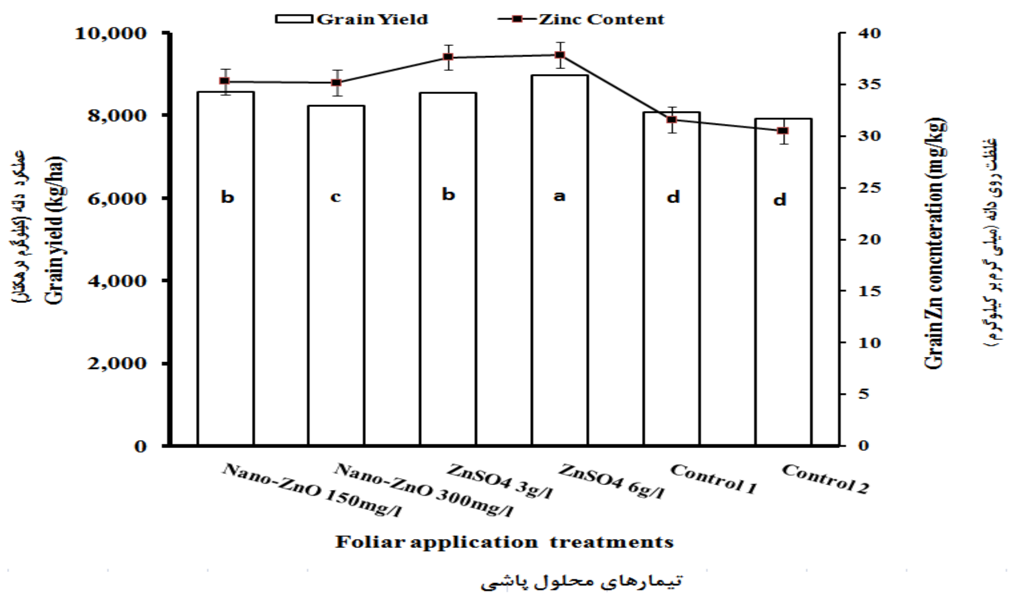
تأثیر محلول‌پاشی کود روی بر عملکرد دانه

تأثیر محلول‌پاشی کود روی بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). محلول‌پاشی نانواکسید روی و سولفات‌روی باعث افزایش عملکرد نسبت به دو تیمار شاهد شد. این افزایش در هر دو تیمار نانو اکسید روی (۱۵۰ و۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و هر دو تیمار سولفات‌روی (سه و شش گرم در لیتر) نسبت به تیمارهای شاهد معنی‌داری بود. حداکثر عملکرد دانه (۸۹۶۸/۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شش گرم در لیتر سولفات‌روی حاصل شد و تیمارهای ۱۵۰میلی‌گرم در لیتر نانواکسید روی، سه گرم در لیتر سولفات‌روی و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانواکسید روی به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند و بین شاهد اول و شاهد دوم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲).

از آنجا که عنصر روی یک بخش ساختمانی آنزیم‌های کربونیک آنهیدراز، الکل دهیدروژناز، مس- روی- سوپراکسید دسموتاز و RNA پلیمراز بوده (Auld, 2001) و سنتز اکسین در گیاهان نیز توسط آن کنترل می‌شود (Skoog, 1940) وجود روی کافی باعث افزایش سنتز آنزیم‌ها و هورمون‌ها در کنار متابولیسم عناصر اصلی شده که سبب تحریک مؤلفه‌های رشد گیاه و افزایش عملکرد می‌شود. همچنین اثر مطلوب روی به دلیل تأثیر مستقیم آن برکیفیت اکسین تولیدی است که رشد گیاه را بهبود می‌بخشد (Wijebandara *et al.*, 2009).

گزارشات متعددی مبنی بر افزایش عملکرد برنج در اثر مصرف کود روی به‌صورت آغشته کردن گیاهچه‌ها در محلول اکسید روی (Saadati, 1998; Soleimani, 1999) و مصرف خاکی سولفات‌روی (Saadati, 1998; Davatgar, 2005) و محلول‌پاشی اکسید و سولفات‌روی وجود دارد (Soleimani, 1999; Chakeralhosseini, 2009). چاکرالحسینی و همکاران (Chakeralhosseini, 2009) گزارش کردند که مصرف کود روی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد با تغذیه برگی (با غلظت سه درهزار) توأم با مصرف ۴۰ کیلوگرم در خاک سولفات‌روی، حاصل شد. کاراک و داس (Karak and Das, 2006) با محلول‌پاشی سولفات روی و کلات روی بر عملکرد برنج، نشان دادند که محلول‌پاشی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد و بیشترین

افزایش با محلول‌پاشی کلات‌روی به‌دست آمد. گزارش ولی‌نژاد (Valinejad, 2001) حاکی از افزایش عملکرد دانه برنج در ۴۵ درصد از اراضی شرق استان مازندران در اثر محلول‌پاشی سولفات‌روی بود. این افزایش در مناطقی بود که میزان روی خاک کمتر از حد بحرانی گزارش شده بود. کمری و همکاران (Kamari *et al.*, 2014) نیز گزارش کردند که عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی نانواکسیدروی قرار گرفت. افزایش عملکرد دانه در اثر محلول‌پاشی کود روی در محصولات دیگر از جمله گندم و بادام‌زمینی نیز گزارش شده‌است. محلول‌پاشی سولفات‌روی و اکسید آهن و ترکیبی از سولفات‌روی و اکسید آهن، باعث افزایش عملکرد دانه گندم و کیفیت آن در مقایسه با شاهد شد و بیش‌ترین عملکرد و کیفیت دانه در تیمار ترکیبی آهن و روی به‌دست آمد (Habib, 2009). پراساد و همکاران (Prasad *et al.*, 2012) گزارش کردند مصرف نانو اکسید روی و سولفات‌روی به‌ترتیب باعث افزایش عملکرد غلاف در بادام زمینی گردید. اگرچه در این آزمایش عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی با ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو اکسید روی بیشتر از تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود ولی این تفاوت معنی‌دار نبود. کاهش عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی با ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو اکسید روی در مقایسه با ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر را می‌توان به اثرات آنتاگونیستی روی و فسفر نسبت داد. چون معمولاً با افزایش غلظت روی جذب فسفر کاهش می‌یابد. به‌علاوه افزایش روی باعث افزایش ساختار پروتئینی گیاه شده و در حضور نیتروژن زیست توده را افزایش می‌دهد ولی به علت به هم خوردن تعادل هورمونی (افزایش اکسین و کاهش جبرلین) عملکرد دانه کاهش یافته‌است (John *et al.*, 2014).



شکل ۲- تأثیر محلول‌پاشی کود روی بر عملکرد دانه و مقدار روی دانه برنج

Figure 2- Effect of zinc foliar application on rice grain yield and grain zinc content

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

Mean in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD Test

Nano-ZnO = نانو اکسید روی، $ZnSO_4$= سولفات‌روی، Control 1= شاهد اول و Control 2= شاهد دوم

Nano-Zno:Nano Zinc Oxide, $ZnSO_4$: Zinc Sulfate

تأثیر محلول‌پاشی عنصر روی بر محتوای روی در دانه

بین تیمارهای مختلف محلول‌پاشی کود روی از نظر محتوای روی دانه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها حاکی از افزایش محتوای روی دانه در تمام تیمارها در مقایسه با دو تیمار شاهد بود. به‌طوری‌که بیشترین میزان روی دانه به‌ترتیب در تیمارهای سولفات‌روی با غلظت شش و سه گرم در لیتر، تیمارهای نانو اکسید روی با غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. این افزایش در تمام تیمارهای محلول‌پاشی نسبت به تیمارهای شاهد معنی‌دار بود ولی بین تیمارهای سولفات‌روی و نانواکسید روی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که افزایش محتوای روی دانه در اثر محلول‌پاشی ترکیبات روی ناشی از افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها در طول دوره پر شدن دانه بوده‌است. به‌علاوه بیش‌تر بودن محتوای روی دانه در تیمارهای سولفات‌روی می‌تواند به بالاتر بودن غلظت محلول سولفات‌روی مرتبط باشد. به اعتقاد رحمان و همکاران (Rehman *et al.*, 2012) محلول‌پاشی با ترکیبات روی باعث افزایش انتقال مجدد

روی از برگ‌ها به دانه در طول دوره پرشدن دانـه مـی‌شـود. گـزارش شده محلول‌پاشی کود روی در مرحله آبستنی و مرحلـه گـرده‌افشـانی برنج سبب انتقال بیشتر روی از برگ پرچم به دانه، هم در ژنوتیپ‌های با میزان روی دانه بالا و هم در ژنوتیپ‌های با مقدار روی پـایین شـد (Wu *et al.*, 2010).

افزایش محتوای روی دانه برنج در اثر محلـول‌پاشـی کـود روی توسط سایر محققین نیز گـزارش شـده‌اسـت (Jiang *et al.*, 2008; Stomph *et al.*, 2011). در پژوهشی افزایش معنی‌دار محتوای روی دانه برنج با محلول‌پاشی کود روی از نوع سولفات‌روی و کـلات روی را گزارش کردند (Karak and Das, 2006). در تحقیق مشابهی کـه با محلول‌پاشی سولفات‌روی ۵ درصد در مرحله شروع خوشه‌دهی برنج انجام شد گزارش شده که محلول‌پاشی در افـزایش دو برابـری مقـدار روی دانه مؤثر بود (Phattarakul *et al.*, 2011). همچنـین گـزارش شده است که محلول‌پاشی با سولفات‌روی ۵ درصد در آغاز خوشه‌دهی در مقایسه با مصرف کود روی در خاک در همان مرحله غلظـت روی دانه را ۱/۸ برابر بیشتر کرد. به اعتقاد این پژوهشگران محلـول‌پاشـی می‌تواند از مشکلات باند شدن روی در خاک جلوگیری کرده، اما زمان محلول‌پاشی برای افـزایش غلظـت روی دانـه بایـد در اطـراف زمـان گل‌دهی باشد (Rehman *et al.*, 2012).

میزان افزایش محتوای روی دانـه بـه عوامـل متعـددی از جملـه ژنوتیپ، نوع کود و غلظـت آن و زمـان مصـرف آن بسـتگی دارد. در تحقیقی مورت و همکاران (Morete *et al.*, 2011) در محلول غذایی آگار، تنوع زیادی برای مقـدار روی دانـه در بـین ارقـام بـرنج هـم در شرایط وفور روی (۳۸/۳–۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) و هم در شـرایط کمبود روی در بافت‌ها (۳۱/۸–۱۱/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) در شـرایط کشت غرقابی برنج گزارش کرده‌اند. همچنین گزارش شده کـه تنـوع ژنوتیپی در غلظت روی دانه برنج ممکـن اسـت بـه علـت تفـاوت در فرآیندهای فیزیولوژیکی تعیین‌کننده تجمع روی در دانه باشـد (Gao *et al.*, 2012). نتایج این تحقیق نشان داد بیشترین میزان روی دانـه (۳۷/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار سولفات‌روی شش گـرم در لیتـر به‌دست آمد که نسبت بـه شـاهد اول و دوم بـه‌ترتیـب ۱۰/۲ و ۱۳/۷ درصد بیشتر بود (جدول ۳).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این بررسی نشان داد، در میان تیمارهـای روی، بهترین تیماری که منجر به تولید حداکثر عملکرد و مقـدار روی دانـه گردید، مصرف شش گرم در لیتر سولفات‌روی بود. این در حـالی بـود که بین تیمارهای سولفات‌روی و نانواکسید روی از نظر محتوای روی دانه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. از آنجا که از ویژگی‌های مواد نانو استفاده از میزان بسیار کم این مواد است، این فناوری می‌تواند ضـمن افزایش عملکرد، محتوای روی دانه برنج را نیز ارتقا دهد، به‌نحوی که باعث جبران کمبود روی در رژیم غذایی افراد، صرفه‌جـویی در میـزان روی مصرفی و کاهش آلودگی محیط زیست گردد. از طرفی با توجـه به اینکه سرانه مصرف برنج در کشور در سال حدود ۴۰ کیلوگرم (۱۱۰ گرم در روز) (Anonymous, 2016) و متوسط نیاز روزانـه افـراد بـه عنصر روی ۱۵–۱۰ میلی‌گـرم گـزارش شـده‌اسـت (Rengel *et al.*, 1998)، می‌توان با غنی‌سازی زیستی برنج با مصرف کودهـای روی و افزایش محتوای روی برنج به‌طور متوسط به ۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، حدود یک سوم نیاز روزانه به عنصر روی (۳/۵میلی‌گرم) را تأمین کرد. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان با محلـول‌پاشـی سـولفات‌روی و نـانو اکسـید روی عملکـرد و محتـوای روی دانـه را بهبـود بخشـید، به‌علاوه با مصرف نانو اکسید روی مقدار مصرف کود را به‌طـور قابـل توجهی کاهش داد. با این حال با توجه به اینکه کـاربرد نـانو مـواد در زمینه کشاورزی، نسبتاً جدید است، تحقیقات بیشـتری در ایـن زمینـه مورد نیاز است.

References

1. Amirjani, M. R., Askari, M., and Askari, F. 2014. Effect of nano zinc oxide on alkaloids, enzymatic and antienzymatic antioxidant contents and some physiological parameters of *Catharantus roseus*. Cell and Tissue Journal 5 (2): 173 -183. (in Persian with English abstract).
2. Anonymous. 2016. Iranian Ministry of Jihade-Agriculture. first volume. Crops. Available at http://www.maj.ir/Portal/Home/Default.aspx?CategoryID=95a8e7d0-e5f0-4f2d-a241-92106c74dcc.
3. Auld, D. S. 2001. Zinc coordination sphere in biochemical zinc sites. In Zinc Biochemistry, Physiology, and Homeostasis. Springer. Netherlands.
4. Cakmak, I., Kalayci, M., Ekiz, H., Braun, H. J., and Yilmaz, A. 1999. Zinc deficiency as an actual problem in plant and human nutrition in Turkey: a NATO Science for Stability Project. Field Crops Research 60: 175-188.
5. Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A. A., Aydin, N., Wang, Y., Arisoy, Z., Erdem, H., Yazici, A., Gokmen, O., and Ozturk, L. 2010. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. Journal of Agricultural and Food Chemistry 58 (16): 9092-9102.
6. Chakeralhosseini, M. R., Mohtashami, R., and Owliaie, H. R. 2009. Effects of rate, source, and method of zinc fertilizer application on quantitative and qualitative characteristics of rice (Choram 1). Journal of Research in Agricultural Science 5 (1): 33-43. (in Persian with English abstract).

7. Davatgar, N. 2005. Estimation of different form of Zinc in wetland soils and their availability to plant rice. Rice Research Institute. Agricultural research, education & extension organization. Registration number: 1045569. (in Persian with English abstract).
8. Dobermann, A., and Fairhurst, T. 2000. Rice: nutrient disorders & nutrient management (Vol. 1). International Rice Research Institute.
9. Depar, N., Rajpar, I., Memon, M. Y., and Imtiaz, M. 2011. Mineral nutrient densities in some domestic and exotic rice genotypes. Pakistan Journal of Agriculture: Agricultural Engineering Veterinary Sciences.
10. Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. First volume. Technical Bulletin No. 982. Soil and Water Research Institute. Tehran, Iran. (in Persian).
11. Forno, D. A., Yoshida, S., and Asher, C. J. 1975. Zinc deficiency in rice. Plant and Soil. 42 (3): 537-550.
12. Gao, X., Hoffland, E., Stomph, T., Grant, C. A., Zou, C., and Zhang, F. 2012. Improving zinc bioavailability in transition from flooded to aerobic rice. A review. Agronomy for sustainable development 32 (2): 465-478.
13. Habib, M. 2009. Effect of foliar application of Zn and Fe on wheat yield and quality. African Journal of Biotechnology 8 (24).
14. Jiang, W., Struik, P. C., Van Keulen, H., Zhao, M., Jin, L. N., and Stomph, T. J. 2008. Does increased zinc uptake enhance grain zinc mass concentration in rice? Annals of Applied Biology 153 (1): 135-147.
15. John, L. W., Jamer, D. B., Samuel, L. T., and Warner, L. W. 2014. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Person Education. Delhi. pp. 106-153.
16. Kamari, H., Seyed Sharifi, R., and Sedeghi, M. 2014. The effect of foliar application of nano-zinc oxide and free-living nitrogen-fixing bacteria on yield and morpho-physiological characteristics of triticale. Crop Physiology Journal 22 (4): 52-37. (in Persian with English abstract).
17. Karak, T., and Das, D. 2006. Effect of foliar application of different sources of Zn application on the changes in Zn content, uptake and yield of rice (*Oryza sativa* L.). In 18th World Congress of Soil Science. Philadelphia., Pennsylvania. USA.
18. Khot, L. R., Sankaran, S., Maja, J. M., Ehsani, R., and Schuster, E. W. 2012. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review. Crop Protection 35: 64-70.
19. Malakouti, M. J., and Kavousi, M. 2004. Balanced nutrition of rice. First Edition. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Deputy Agronomy Affairs. Press the Senate. Tehran. (in Persian).
20. Morete, M. J., Impa, S. M., Rubianes, F., and Beebout, S. E. J. 2011. Characterization of zinc uptake and transport in rice under reduced conditions in agar nutrient solution. 14th Philippines Society of Soil Science and Technology. In Scientific Conference (pp. 25-27).
21. Phattarakul, N., Mongon, J., and Rerkasem, B. 2011. Variation in rice grain zinc and their response to zinc fertilizer. In 3rd International Zinc Symposium (pp. 10-14). Hyderabad. India.
22. Prasad, T. N. V. K. V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K. R., Sreeprasad, T. S., Sajanlal, P. R., and Pradeep, T. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition 35 (6): 905-927.
23. Quijano-Guerta, C., Kirk, G. J. D., Portugal, A. M., Bartolome, V. I., and McLaren, G. C. 2002. Tolerance of rice germplasm to zinc deficiency. Field Crops Research. 76: 123-130.
24. Rehman, H. U. 2014. N-Zn dynamics under different rice production systems (Doctoral dissertation. University of Agriculture. Faisalabad).
25. Rehman, H. U., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A., and Rengel, Z. 2012. Zinc nutrition in rice production systems: a review. Plant and soil 361 (1-2): 203-226.
26. Reinhold, J. G. 1971. High phytate content of rural Iranian bread: a possible cause of human zinc deficiency. The American journal of clinical nutrition 24 (10): 1204-1206.
27. Rengel, Z., Römheld, V., and Marschner, H. 1998. Uptake of zinc and iron by wheat genotypes differing in tolerance to zinc deficiency. Journal Plant Physiology 152: 433-438.
28. Saadati, N. 1998. The effect of different sources of zinc (Zn) on yield of rice, (var. Tarom) in peat lands. Rice Research Institute. Agricultural research, education & extension organization. Final report of research project 12 pages. (in Persian).
29. Safarpour, R., and Naqhavi, S. 1997. Determination of zinc requirement of rice in paddies of Guilan province. Rice Research Institute. Agricultural research, education & extension organization. Extension issue, 42 pages. (in Persian with English abstract).
30. Soleimani, A. 1999. Effects of zinc on rice farming. Gorgan and Gonbad Agricultural Organization. Rice Research Institute. Extension issue, 8 pages. (in Persian).
31. Shivay, Y. S., Kumar, D., Prasad, R., and Ahlawat, I. P. S. 2008. Relative yield and zinc uptake by rice from zinc sulphate and zinc oxide coatings onto urea. Nutrient Cycling in Agroecosystems 80 (2):181-188.
32. Skoog, F. 1940. Relationships between zinc and auxin in the growth of higher plants. American Journal of Botany 939-951.
33. Stomph, T. J., Hoebe, N., Spaans, E., and Van der Putten, P. E. L. 2011. The relative contribution of post-flowering

uptake of zinc to rice grain zinc density. In 3rd International Zinc Symposium. (pp. 10-14). Hyderabad. India.

34. Valinejad, M. 2001. Determination of critical level of potassium and zinc in several paddy fields of Mazandaran province. Soil Science master's thesis. Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran. Tehran, Iran. (in Persian with English abstract).
35. Wijebandara, D. M. D. I., Dasog, G. S., Patil, P. L., and Hebbar, M. 2009. Effect of nutrient levels and biofertilizer on growth and yield of paddy under System of Rice Intensification (SRI) and conventional methods of cultivation. Tropical Agricultural Research 20: 343-353.
36. Wu, C.Y., Lu, L. L., Yang, X. E., Feng, Y., Wei, Y. Y., Hao, H. L., Stoffella, P. J., and He, Z. L. 2010. Uptake, translocation, and remobilization of zinc absorbed at different growth stages by rice genotypes of different Zn densities. Journal of agricultural and food chemistry 58 (11): 6767-6773.
37. Zayed, B. A., Salem, A. K. M., and El Sharkawy, H. M. 2011. Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oryza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. World Journal of Agricultural Sciences 7 (2): 179-184.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 125-136

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۱۳۶-۱۲۵

Effects of Foliar Application of Zinc Fertilizer on Grain Yield and Zinc Content of Rice Grain cv. Sazandegi

A. Ramazani[1*]- M. Solhi[2]- M. Rezaei[3]
Received: 10-10-2016
Accepted: 01-03-2017

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the major staples feeding more than half of the world population. It is grown in more than 100 countries, predominantly in Asia and provides 21% of energy and 15% of protein requirements of human populations globally. Zinc deficiency is one of the important abiotic factors limiting rice productivity worldwide and also a widespread nutritional disorder affecting human health. Chakeralhossein *et al.*, (2009) evaluated the effects of rate, sources and application methods of zinc fertilizer on quantity and quality of rice and reported that, application of zinc fertilizer significantly increased yield and grain Zn content. The greatest yield enhancement (56.9%) was obtained in 3 g L^{-1} $ZnSO_4$ along with application of 40 kg ha^{-1} $ZnSO_4$ as soil application methods. In slightly alkaline sandy clay soil with sufficient Zn under flooded conditions, soil and plant Zn concentration were increased 1.8 times with foliar spray of 0.5 %w/v $ZnSO_4$ which was applied at panicle initiation compared to soil application of $ZnSO_4$ at the same stage. In a field experiment during two years in Egypt, the effects of Zn, Fe and Mn as single or combined application in soil and foliar spray to the rice growth and yield were evaluated. The results showed that the single or combine application of Zn, Fe and Mn significantly improved rice growth and yield. According to Zn deficiency is a widespread nutritional disorder affecting human health in many countries, especially where people rely on cereal-based food, the aim of this study was to investigate the effect of foliar application of nano-ZnO and zinc sulfate on yield and grain zinc content of rice.

Materials and Methods

A field experiment was conducted as randomized complete block design with three replications at the Isfahan Agricultural Research Center during 2013-2014. Treatments were consisted of six zinc foliar application levels: 150 and 300 mg L^{-1} nano-ZnO, 3 and 6 g L^{-1} $ZnSO_4$, distilled water as the first control (Control 1) and no spray as the second control (Control 2). Rice plants were foliar sprayed until runoff using a hand-sprayer, at the tillering and grain milk stages. Nano-zinc oxide had a purity of greater than 99%, average particle diameter of 10-30 nm and specific surface area of > 30 m^2 g^{-1}. Also zinc sulfate was used with purity of 99%.

Results and Discussion

The results showed that Fe, Mn and Zn concentrations of plant shoot at tillering and grain milk stages, and also grain yield and grain zinc content were significantly affected by zinc foliar application ($P<0.05$). Foliar application of nano-zinc oxide and zinc sulfate increased zinc concentration of plant shoot at tillering and grain milk stages. The highest shoot zinc concentration of 28.8 and 37.8 mg kg^{-1} were obtained in 6 mg L^{-1} zinc sulfate at tillering and grain milk stages, respectively. While the lowest shoot zinc concentration (24.2 and 30.5 mg kg^{-1}) were observed in the first control treatment at tillering stage and in the second control treatment at grain milk stage, respectively. At tillering stage, foliar application of 3 and 6 mg L^{-1} zinc sulfate and 300 mg L^{-1} nano-zinc oxide increased shoot zinc concentration, whereas there was no significant difference between 150 mg L^{-1} nano-zinc oxide and two controls treatments. At grain milk stage, all zinc foliar application treatments increased shoot zinc concentration compared to the control treatments. The maximum grain zinc content (37.8 mg kg^{-1}) was obtained with 6 g L^{-1} zinc sulfate which was 16.6 and 19.5% higher than first and second control treatments, respectively. Zinc foliar application significantly ($P<0.05$) increased grain yield. Foliar application of nano-zinc oxide and zinc sulfate significantly improved grain yield compared to the control treatments. The highest grain yield was obtained in 6 g L^{-1} zinc sulfate fallowed by 150 mg L^{-1} nano zinc oxide, 3 g L^{-1} zinc sulfate and 300

1- Assistant Professor of Horticultural Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
2 and 3- Respectively, Assistant Professor and Researcher of Soil and Water Department, Isfahan Agricultural and Natural resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
(*- Corresponding Author Email: Ramazani@yahoo.com)

mg L^{-1} nano-zinc oxide, respectively. Also, there were no significant difference between first and second controls. Zinc is a structural part of carbonic anhydrase, alcohol dehydrogenase, Cu/Zn-superoxide dismutase and RNA polymerase and serves as a cofactor for all 6 classes of enzymes (oxidoreductases, transferases, hydrolases, lyases, isomerase and ligases) and auxin synthesis in plants is also controlled by Zn. Adequate zinc in plants increases the synthesis of enzymes and hormones, metabolism of essential elements and stimulates plant growth and yield.

Conclusions

According to rice consumption per capita in Iran is 40 kg (110 g day^{-1}) and the average daily human zinc requirement is 10-15 mg, zinc biofortification of rice and improving zinc of rice grain to 35 mg kg^{-1} will provide about one third of people's daily zinc requirement (3.5 mg).

Keywords: Biofortification, Foliar application, Nano-ZnO, Zinc deficiency, $ZnSO_4$